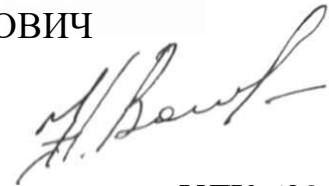


**Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет залізничного транспорту**

**ВОЛОДАРЕЦЬ МИКИТА ВІТАЛІЙОВИЧ**



УДК 629.4.016

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-  
ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГІБРИДНИХ ЛОКОМОТИВІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі Експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор

**Фалендиш Анатолій Петрович**

Український державний університет залізничного транспорту, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, професор кафедри

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук,

**Горобець Володимир Леонідович,**

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка Всеволода Лазаряна, головний науковий співробітник

кандидат технічних наук, доцент

**Гончаров Олександр Михайлович,**

ДП «Державний НДЦ залізничного транспорту України»,  
НДВ рухомого складу, начальник відділення

Захист відбудеться “3” червня 2016 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Із дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий “28” квітня 2016 р.

В.о. ученого секретаря  
спеціалізованої вченої ради



О.М. Огар

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Залізничний транспорт України є однією з основних галузей економіки держави. Він забезпечує потреби виробництва та населення в перевезеннях. Однак технічна база і технологічний рівень організації перевезень за багатьма параметрами не відповідає потребам суспільства і європейським стандартам якості транспортних послуг. Проблема ускладнюється катастрофічною недостатністю фінансів для оновлення тягового рухомого складу, термін експлуатації якого складає 25-30 років, більшість тепловозів знаходиться на завершальній стадії другого етапу життєвого циклу.

В умовах зменшення вантажообігу, зношення локомотивного парку і, виходячи з цього, зниження рівня його експлуатаційної надійності, необхідно вирішувати завдання забезпечення ефективної роботи тягового рухомого складу. Виникає нагальна необхідність оновлення тягового рухомого складу Укрзалізниці. Це можна зробити наступними способами: шляхом закупівлі нового рухомого складу або модернізацією існуючого. Модернізація є найбільш ефективним методом подовження строку служби локомотивів, особливо в умовах дефіциту фінансів та високої вартості нового локомотивного парку і переведення його на електричну тягу.

Одним із напрямків підвищення ефективності локомотивної тяги є вирішення питань, які пов'язані з вибором типів і характеристик локомотивів. Ці питання завжди знаходили відображення у дослідженнях вчених і спеціалістів залізничного транспорту і є дуже актуальними, особливо в теперішній час.

Для вирішення вказаного завдання необхідним є обґрунтування параметрів перспективних тепловозів, в тому числі і тих, на яких застосовано гібридний привід. Тому вирішення цих питань на основі сучасних теоретичних розробок дозволяє кваліфікувати дисертаційну роботу як актуальну, спрямовану на розв'язання важливого науково-прикладного завдання – удосконалення методів та моделей визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації відповідає «Комплексній програмі оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки», яку затверджено Наказом Міністра транспорту та зв'язку України від 14.10.2008 р., №1259, Державній цільовій програмі реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки, затвердженій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року №1390 та Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року №1555-р. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до науково-дослідних робіт за темами «Дослідження та розробка технічних рекомендацій з визначення раціональної системи технічного обслуговування та поточного ремонту модернізованих тепловозів ЧМЕЗ дизелями закордонного виробництва з урахуванням регіону їх експлуатації та конструктивних особливостей» (№ ДР – 0111U007696), «Методологія управління технічною експлуатацією модернізованого рухомого складу залізниць України протягом його життєвого циклу» (№ ДР 0113U001029), «Розробка програми-методики експлуатаційних

випробувань на працездатність та обробка і оформлення їх результатів» (№ ДР 0113U006586).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення техніко-економічних показників роботи гібридних локомотивів за рахунок удосконалення методів та моделей їх визначення.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні задачі дослідження:

- аналіз існуючого парку локомотивів, витрат дизельного палива тепловозами за видами руху а також режимів роботи маневрових тепловозів;
- аналіз наукових праць на предмет визначення техніко-економічних показників локомотивів;
- розробка функціональної моделі роботи гібридного маневрового тепловоза;
- розробка оптимізаційної математичної моделі для визначення параметрів силової установки і накопичувача енергії з урахуванням умов експлуатації;
- розробка оптимізаційної моделі з визначення раціональних техніко-економічних показників гібридного маневрового тепловозу та параметрів передачі потужності гібридного маневрового тепловоза;
- розробка програмного комплексу для розрахунку техніко-економічних характеристик гібридного маневрового тепловоза;
- визначення технічного рівня гібридного тепловоза та оцінка ефективності від впровадження на маневровому тепловозі гібридного приводу.

*Об'єкт дослідження* – Процес визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів.

*Предмет дослідження* – Методи та моделі визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів.

**Методи дослідження.** Для досягнення окресленої мети в роботі були використані наступні методи дослідження:

- метод спостереження (хронометражу) для визначення часу роботи дизель-генераторної установки тепловозів на кожній позиції контролера машиніста та кількості переключень між позиціями;
- теоретичного, емпіричного дослідження, теорії локомотивної тяги під час виконання аналізу питання оцінки визначення техніко-економічних показників локомотивів;
- математичного моделювання, з використанням програмного комплексу на базі персональної ЕОМ та системний підхід для створення математичної моделі визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів;
- експертний метод з використанням теорії множин для оцінки технічного рівня гібридного маневрового тепловоза і вибору номенклатури його показників.
- математичної статистики та теорія надійності для розрахунку техніко-економічних параметрів гібридних локомотивів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання удосконалення методів та моделей визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів.

Вперше:

- побудована функціональна модель роботи гібридного маневрового тепловоза, яка дозволяє визначити функціональні зв'язки між елементами передачі потужності із гібридним приводом;

- розроблена оптимізаційна математична модель для визначення параметрів силової установки і накопичувача енергії з урахуванням умов експлуатації, які виражено у залежності необхідної потужності локомотива від часу роботи на певній ділянці;

- розроблена оптимізаційна модель нелінійного програмування з визначення раціональних техніко-економічних показників гібридного маневрового тепловозу, отримано залежності енергоємності накопичувача енергії і вартісних показників модернізації від потужності обраної силової установки для заданого виду роботи.

Удосконалено:

- модель визначення параметрів передачі потужності тепловоза з урахуванням гібридного приводу, яка враховує техніко-економічні характеристики накопичувачів енергії;

- метод визначення технічного рівня маневрових тепловозів за рахунок врахування номенклатури показників, які характеризують гібридний привід;

- модель визначення економічної ефективності від впровадження гібридного маневрового тепловоза з врахуванням виду експлуатаційної роботи.

**Практичне значення одержаних результатів.** Матеріали дисертаційної роботи використано при розробці та використанні транспортних засобів, заснованих на гібридних технологіях, впровадження яких дозволяє знизити витрати палива та викиди шкідливих речовин до атмосфери. Розроблені моделі дозволять отримати науково-обґрунтовані результати, які можуть бути використані під час прогнозування типу і структури парку локомотивів на початкових етапах проектування, а також під час планування заходів з модернізації існуючого парку.

Основні наукові результати щодо визначення технічного рівня гібридного тепловоза, оцінки ефективності від впровадження на маневровому тепловозі гібридного приводу та наведений комплекс моделей впроваджені Головним управлінням локомотивного господарства «Укрзалізниці» при розробці технічних рекомендацій з визначення раціональної системи технічного обслуговування та поточного ремонту модернізованих тепловозів ЧМЕЗ дизелями закордонного виробництва з урахуванням регіону їх експлуатації та конструктивних особливостей, у навчальному процесі Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту при проведенні занять у групах факультету підвищення кваліфікації кадрів, підготовці магістрів та спеціалістів за спеціальністю «Локомотиви та локомотивне господарство». Наукові результати з розробки та використання транспортних засобів, заснованих на гібридних технологіях, впроваджені в навчальному процесі кафедри автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету при підготовці спеціалістів та магістрів. Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача.** Усі положення й результати роботи, які виносяться на захист, автором отримані особисто. Персональний внесок

здобувача у працях, опублікованих у співавторстві, наступний: [1] – вибір та розрахунок параметрів фізичної моделі для вивчення процесів рекуперації електричної енергії тепловоза ЧМЕЗТ; [2, 4, 6, 13, 14] – розробка моделей розрахунку техніко-економічних параметрів маневрового тепловоза із застосуванням гібридної тяги та визначення її параметрів; [3, 5, 25] – розрахунок технічного рівня маневрових тепловозів із гібридною передачею потужності; [4] – розробка алгоритму вибору потужнісних характеристик маневрового тепловоза із гібридною передачею; [7, 12] – аналіз режимів роботи і стану парку маневрових тепловозів; [7] – розрахунок параметрів модернізованого маневрового тепловоза; [8, 9, 21] – аналіз ефективності використання модернізованих маневрових локомотивів; [9, 10] – розробка методів визначення ефективності впровадження модернізованих маневрових локомотивів; [11] – розробка моделі силового ланцюга гібридного маневрового тепловоза; [15] – визначення параметрів життєвого циклу модернізованих гібридних локомотивів; [16, 17, 19] – аналіз можливості експлуатації гібридного маневрового тепловоза; [22] – покращення техніко-економічних показників роботи маневрових тепловозів; [23, 24, 26] – визначення раціональних параметрів гібридного маневрового локомотива.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися і отримали схвалення на наступних конференціях: наукові конференції студентів, молодих вчених та викладачів «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, управління. Математика, фізика, теоретична та прикладна механіка» (Україна, м. Донецьк, 2009-2012 рр.); I-V Міжвузівські науково-технічні конференції викладачів, молодих вчених та студентів «Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування» (Україна, м. Донецьк, 2009-2013 рр.); I Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (Україна, м. Красний Лиман, 2010 р.); II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів «Транспорт і логістика» (Україна, м. Донецьк, 2010 р.); 71 Міжнародна науково-практична конференція (МНПТ) «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2011 р.); VI МНПТ «Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті» (Україна, м. Київ, 2011р.); МНПТ «21 век: фундаментальная наука и технологии», Научно-издательский центр «Академический» (Россия, г. Москва, 24-25 декабря, 2012 г.); МНПТ «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (Англія, м.Лондон, 2014р.); науково-практична конференція студентів та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (Україна, м. Сєверодонецьк, 2014р); науково-практична конференція студентів та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (Україна, м. Лозова, 2015р).

Повністю результати дисертаційної роботи заслухані і схвалені на розширеному засіданні кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, на розширеному засіданні кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Українського державного університету залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради.

**Публікації.** Відповідно до теми дисертації опубліковані 26 наукових праць, з яких 14 статей у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (2 статті включені до міжнародних наукометричних баз), 11 праць апробаційного характеру, 1 авторське свідоцтво.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг тексту дисертації 163 сторінки, обсяг основного тексту складає 131 сторінку друкованого тексту (5 сторінок зайняті на повну площу 3 таблицями), 33 рисунки, 8 таблиць, список використаних джерел включає 128 найменувань і 3 додатки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі сформульовано мету й завдання дослідження, відображено загальну характеристику роботи та основні наукові положення, що виносяться на захист. Обґрунтовано актуальність теми, її наукову новизну й практичне значення. Наведено дані про методи досліджень, публікації, апробацію та структуру дисертації.

У першому розділі виконано аналіз технічного стану сучасного парку маневрових тепловозів та їх характеристик технічної експлуатації, аналіз техніко-економічних характеристик гібридних локомотивів, проаналізовано наукові дослідження з даної проблеми.

З'ясовано, що з наявного парку локомотивів термін служби, що був назначений заводами-виробниками, вироблений на 89,3 % електровозами, а тепловозами – на 99,3%. Тому виникає необхідність в оновленні тягового рухомого складу Укрзалізниці, що можна зробити наступними способами: шляхом закупівлі нового рухомого складу або модернізацією наявного.

Аналіз роботи маневрових тепловозів підтвердив, що вони характеризуються різко змінним режимом роботи, при цьому 50 – 60 % часу вони працюють на холостому ході; 45 – 70 % на низьких навантаженнях і лише 2 – 5 % часу на номінальних. Одним із способів підвищення ефективності експлуатації маневрових тепловозів є заміна існуючої дизель-генераторної установки на дизель-генераторну установку малої потужності з накопичувачем енергії, тобто створення так званого гібридного локомотива. Окрім економічних, така модернізація тепловоза дозволить поліпшити екологічні показники. Слід зазначити, що залізниці всього світу намагаються впровадити такий тип передачі потужності.

Визначенню та обґрунтуванню основних показників локомотивів присвячено багато наукових досліджень. Це роботи вчених з України та країн СНД таких як: Г.Г. Басов, Б.Є. Боднар, Н.Є. Боровий, А.І. Володін, М.І. Горбунов, О.М. Гончаров, В.Л. Горобець, С.Г. Грищенко, М.Л. Забелло, Н.Н. Заліт, В.Н. Іванов, В.П. Казанцев, Ю.Є. Калабухін, Є.Є. Коссов, В.Д. Кузьміч, В.Г. Маслієв, Г.С. Міхальченко, В.І. Мороз, Л.В. Одінцов, Г.В. Попов, Е.Д. Тартаковський, Н.А. Фуфрянський, П.А. Шелест і багатьох інших. Подібні дослідження виконані закордонними вченими, такими як: К.Р. Аклі, С. Бінгхам, П.Вольф, Дж. Джент, А. Джейніс, Ф.В. Донеллі, В. Іверс, Р.Л. Коусіньо,

Л. П. Лінгайтс, А. Лохнер, Л. Людвінавічіус, Х. Робоам, Б. Сарені, Н. Скофілд, Р.Н.М. Хослей, Г. Яп та інші. У них наведено багато принципових схем гібридних локомотивів з різними приводами та структурними елементами, розглянуті питання як модернізації існуючих локомотивів гібридним приводом, так і створення нових гібридних локомотивів. Огляд методів та моделей засвідчує, що різні вчені із різних країн протягом багатьох років здійснювали дослідження, спрямовані на визначення техніко-економічних параметрів рухомого складу. Більшість з них орієнтована на негібридний рухомий склад.

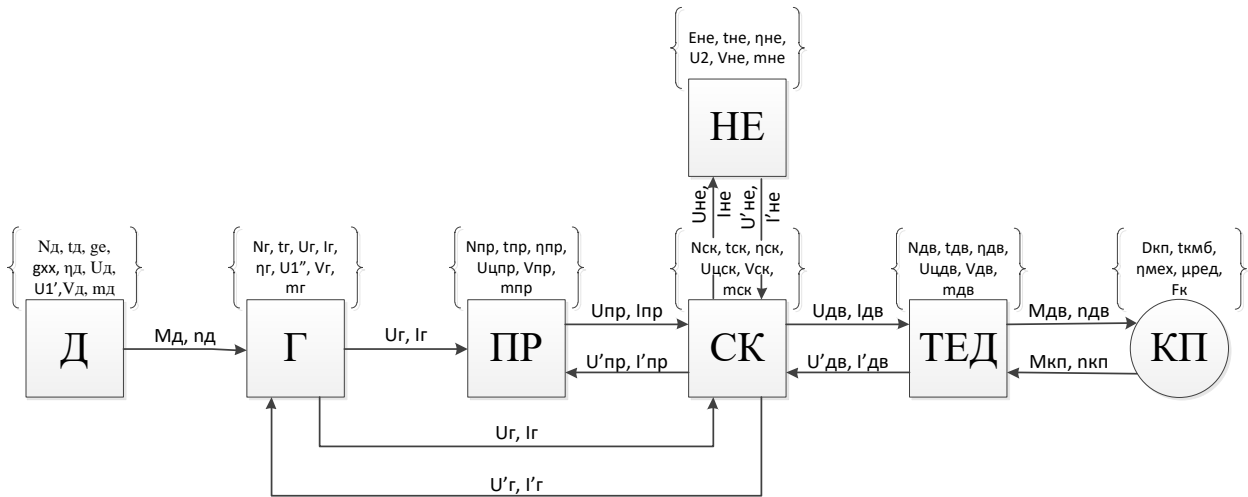
У **другому розділі** обґрунтовано вибір напрямку дослідження – процес визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів, вплив на них експлуатаційних та конструкційних факторів. Викладено загальну методiku проведення досліджень процесу визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів. Описано методи досліджень, а саме: метод спостереження (хронометражу) для визначення часу роботи дизель-генераторної установки тепловозів на кожній позиції контролера машиніста та кількості переключень між позиціями; теоретичного та емпіричного дослідження під час виконання аналізу питання оцінки визначення техніко-економічних показників локомотивів; математичного моделювання, з використанням програмного комплексу на базі персональної ЕОМ; системний підхід для створення математичної моделі визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів і проведення тягових розрахунків; математичної статистики та теорії надійності для розрахунку параметрів гібридних локомотивів; експертний метод з використанням теорії множин для оцінки технічного рівня гібридного маневрового тепловоза і вибору номенклатури його показників.

У **третьому розділі** описано створену функціональну модель роботи гібридного маневрового тепловоза. Для вирішення завдання визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів використаний комплексний підхід, який пов'язує між собою множину можливих рішень  $R$ , як сукупність наступних підмножин: технічних параметрів локомотива  $R_1$ , показників експлуатації  $R_2$  і вартісних показників  $R_3$ , тобто

$$R = \{R_i\} = \{R_1, R_2, R_3\}. \quad (1)$$

За результатами аналізу систем гібридного приводу локомотивів побудовано функціональну модель роботи гібридного маневрового тепловоза (рисунок 1). Енергія з дизеля передається на генератор, потім на перетворювач, з нього на систему керування, яка пов'язує між собою накопичувач енергії, тягові електродвигуни та тяговий генератор. У тяговому режимі енергія від дизель-генератора передається через перетворювач і систему керування на тягові двигуни, які можуть додатково живитися від накопичувача енергії. На тих режимах, де негібридний локомотив працює на низьких навантаженнях і холостому ході, дизель-генератор гібридного маневрового тепловоза поповнює запас енергії у накопичувачі енергії, зарядження якого можливе від тягових двигунів, при роботі їх в режимі рекуперації енергії під час гальмування.





Пояснення : Д - дизель; Г- тяговий генератор ; ПР - перетворювач; СК– система керування; ТЕД – тягові електродвигуни; НЕ – накопичувач енергії; КП – колісна пара

Рисунок 1 – Функціональна модель роботи гібридного маневрового тепловоза

Розроблена оптимізаційна математична модель для визначення параметрів силової установки і накопичувача енергії з урахуванням умов експлуатації. В неявному вигляді модель має вигляд

$$Neng_j = \min(Ene_j(Nf_i, \Delta\tau)). \quad (2)$$

Початковими даними для розрахунку є ряд значень потужності силової установки  $Nf_i$ , яка визначається протягом поїздки кожні  $\Delta\tau$  хвилин, де  $i \in [1 \dots n]$ ,  $n$  – кількість значень ряду. На основі них формується ряд значень потужності силової установки  $Nust_j$ ,  $j \in [1 \dots Nstep]$ , де  $Nstep$  – кількість значень ряду. Енергоємність накопичувача енергії  $E_{i,j}$ , МДж, на кожному етапі змінювання необхідної потужності тепловоза з урахуванням коефіцієнтів корисної дії його зарядки  $\eta_3$  і розрядки  $\eta_p$  і приймаючи початкове значення енергоємності накопичувача  $E_{1,j}=E_0$  описується рівнянням

$$E_{i+1,j} = \begin{cases} E_{i,j} - (Nf_{i+1} - Nust_j) \Delta\tau / \eta_p, & \text{if } Nf_{i+1} > Nust_j, \\ E_{i,j}, & \text{if } Nf_{i+1} = Nust_j, \\ \begin{cases} E_{i,j} - (Nf_{i+1} - Nust_j) \Delta\tau / \eta_3, & \text{if } E_{i,j} - (Nf_{i+1} - Nust_j) \Delta\tau / \eta_3 \leq E_0, \\ E_0, & \text{if } E_{i,j} - (Nf_{i+1} - Nust_j) \Delta\tau / \eta_3 > E_0, \end{cases} & \text{if } Nf_{i+1} < Nust_j. \end{cases} \quad (3)$$

Залежність потужності силової установки  $Neng_j$ , кВт, від енергоємності накопичувача енергії  $Ene_j$ , МДж,

$$Neng_j = Nust_j = f(Ene_j), \text{де } Ene_j = \left| \min(E_j) \right|. \quad (4)$$

Граничні значення параметрів моделі:  $Nf_j \in [0 \dots Nf_{max}]$ ,  $Neng_j \in [0 \dots Nf_{max}]$ ,  $Nust_j \in [0 \dots Nf_{max}]$ ,  $E_{1,j} = E_0 = 0$ .

Складено алгоритм підпрограми, а на його основі підпрограму розрахунку необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки маневрового тепловоза із гібридною передачею.

Також розроблено оптимізаційну модель визначення раціональних техніко-економічних показників гібридного маневрового тепловоза, яка є моделлю нелінійного програмування. У неявному вигляді її цільова функція має вигляд

$$Uzag(N_{eng}, E_{ne}) = f(U0, U1(N_{eng}), U2(E_{ne}), U3(N_{eng}, E_{ne}), \\ U4(N_{eng}, E_{ne}), k_{зм}, k_{в}, k_{z}) \rightarrow \min, \quad (5)$$

де  $U0$  – ліквідаційна вартість базового дизель-генератора, грн.;  $U1(N_{eng})$  – вартість дизель-генератора залежно від його потужності, грн.;  $U2(E_{ne})$  – вартість накопичувачів енергії, грн.;  $U3(N_{eng}, E_{ne})$  – зменшення витрат на паливо після модернізації, грн.;  $U4(N_{eng}, E_{ne})$  – зменшення витрат на обслуговування і ремонт після модернізації, грн.;  $k_{зм}$  – кількість змін на добу;  $k_{в}$  – кількість днів використання локомотива за рік;  $k_{z}$  – коефіцієнт завантаження локомотива протягом доби.

Враховуючи обмеження, які накладаються на накопичувачі енергії, знаходимо оптимальні значення потужності дизель-генератора  $Nopt$ , кВт, та енергоємності накопичувача енергії  $Eopt$ , МДж, за умови мінімізації загальних витрат, пов'язаних із модернізацією  $Uzag$ , грн.,

$$Uzag_j(N_{eng_j}, E_{ne_j}) = U1_j(N_{eng_j}) + U2_j(E_{ne_j}) - U0 - \\ - U3_j(N_{eng_j}, E_{ne_j}) \cdot k_{зм} \cdot k_{в} \cdot k_{z} \cdot r0 - U4_j(N_{eng_j}, E_{ne_j}) \rightarrow \min, \quad (6)$$

де  $r0$  – термін окупності від впровадження гібридного приводу.

Формування залежності вартості дизель-генератора  $U1$ , грн., від його потужності  $Neng$ , кВт,

$$U1 = A \cdot Neng^2 + B \cdot Neng + C, \quad (7)$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – коефіцієнти, які характеризують модель двигуна.

Так, для дизелів фірми Caterpillar залежність має наступний вигляд

$$U1 = 1,099 \cdot Neng^2 + 943,46 \cdot Neng + 131885. \quad (8)$$

Формування залежності вартості накопичувача енергії  $U2$ , грн., від його енергоємності  $Ene$ , МДж,

$$U2 = u2 \cdot Ene, \quad (9)$$

де  $u2$  – питома вартість накопичувача енергії, грн/МДж.

Зменшення витрат на паливо після модернізації  $U3$ , грн.,

$$U3_j = (Gekspl - G1(Neng_j)) \cdot ct = \left[ \sum_{i=1}^n (Nf_i \cdot ge0 \cdot \Delta\tau / 3600) - \sum_{i=1}^n G_{i,j} \right] \cdot ct, \quad (10)$$

де  $ct$  – вартість палива, грн/кг;  $ge0$  – питома витрата палива дизелем базового локомотива, кг/кВт·год;  $G_{i,j}$  – витрати палива гібридним тепловозом, кг.

Для визначення витрати палива гібридним тепловозом для кожного кроку зміни потужності використано формулу

$$G_{i+1,j} = \begin{cases} Nust_j \cdot gen \cdot \Delta\tau / 3600, & \text{if } Nf_{j+1} > Nust_j \\ \begin{cases} Nust_j \cdot gen \cdot \Delta\tau / 3600, & \text{if } E_{i,j} - (Nf_{i+1} - Nust_j) \Delta\tau / \eta_3 \leq Eo, \\ 0, & \text{if } E_{i,j} - (Nf_{i+1} - Nust_j) \Delta\tau / \eta_3 > Eo. \end{cases} & \text{if } Nf_{j+1} = 0 \\ \begin{cases} Nust_j \cdot gen \cdot \Delta\tau / 3600, & \text{if } E_{i,j} - (Nf_{i+1} - Nust_j) \Delta\tau / \eta_3 \leq Eo, \\ Nf_{i+1} \cdot gen \cdot \Delta\tau / 3600, & \text{if } E_{i,j} - (Nf_{i+1} - Nust_j) \Delta\tau / \eta_3 > Eo. \end{cases} & \text{if } 0 < Nf_{i+1} < Nust_j \end{cases}, \quad (11)$$

де  $gen$  – питома витрата палива новими дизелями, кг/кВт·год.

Зменшення витрат на обслуговування і ремонт після модернізації  $U4$ , грн.,

$$U4_j = Cб - Cз(Neng_j) = Cб \left( 1 - \frac{Cз(Neng_j)}{Cб} \right) = (1 - k(Neng_j)) Cб, \quad (12)$$

де  $Cб$  – витрати на технічне обслуговування і ремонт базового тепловоза, грн.;  $Cз(Neng_j)$  – витрати на технічне обслуговування і ремонт гібридного тепловоза в залежності від потужності обраної дизель-генераторної установки, грн.;  $k(Neng_j) = Cз(Neng_j) / Cб$  – коефіцієнт відношення витрат на технічне обслуговування і ремонт гібридного тепловоза до базового залежно від потужності обраної дизель-генераторної установки.

В явному вигляді цільова функція моделі має вигляд

$$Uzag_j(N_{eng}, E_{ne}) = A \cdot (Neng_j)^2 + B \cdot Neng_j + C + u2 \cdot Ene_j - U0 - \left[ \sum_{i=1}^n (Nf_i \cdot ge0 \cdot \Delta\tau / 3600) - \sum_{i=1}^n G_{i,j} \right] \cdot ct - C\bar{b} \cdot (1 - k(Neng_j)) \rightarrow \min. \quad (13)$$

Граничні значення параметрів моделі:  $Nf_j \in [0 \dots Nf_{max}]$ ,  $Neng_j \in [0 \dots Nf_{max}]$ ,  $Nust_j \in [0 \dots Nf_{max}]$ ,  $E_{1,j} = E_0 = 0$ ,  $Ene \in [0 \dots Em_{max}]$ ,  $Ene \in [0 \dots Ev_{max}]$ , де  $Em_{max}$ ,  $Ev_{max}$  – максимальні значення енергоємності за масою і об'ємом для певного локомотива.

Складено процедуру, алгоритм, а на їх основі програму розрахунку техніко-економічних характеристик маневрового тепловоза із гібридною передачею потужності, використовуючи яку в процесі проектування маневрового тепловоза із гібридною передачею потужності, можливо визначити раціональні співвідношення його силової установки і накопичувача енергії.

Удосконалено модель по визначенню основних параметрів електричної передачі тепловоза із гібридною передачею потужності; побудовано зовнішню характеристику тягового генератора та регулювальну характеристику електропередачі, побудовано тягову характеристику тепловоза. Відмінністю моделі від існуючих є те, що при використанні накопичувача енергії, його потужність  $N_{ne}$  додається до потужності дизель-генератора  $N_{eng}$  і сумарна потужність  $N_e$  підводиться до тягових двигунів, тобто

$$N_e = N_{ne} + N_{eng}. \quad (14)$$

Моделі було перевірено на адекватність. Похибка склала близько 3%.

**У четвертому розділі** було визначено раціональні параметри гібридного маневрового тепловоза на базі ЧМЕЗ. За даними БІС-Р для серійного тепловоза ЧМЕЗ було побудовано залежність його експлуатаційної потужності  $Nf_i$  від часу роботи  $\tau_i$ . Обрано потужність силової установки локомотиву і розраховано енергоємність накопичувача енергії для кожного  $i$ -того шагу зміни потужності тепловозу. На основі масо-габаритних показників і за умови обмеження вільного простору тепловозу ЧМЕЗ, розраховано граничну енергоємність різноманітних накопичувачів енергії. Розраховано загальні витрати, пов'язані із модернізацією  $Uzag$ , грн. Відповідні графіки наведено на рисунку 2, звідки видно, що, враховуючи обмеження, які накладаються на накопичувач енергії, мінімальні витрати на модернізацію спостерігаються для потужності дизель-генератора 360 кВт і енергоємності накопичувача енергії близько 50 МДж. Також наведено розрахунок параметрів передачі потужності гібридного локомотива. Подібні розрахунки було проведено для визначення параметрів модернізованого тепловоза ЧМЕЗ гібридною передачею потужності в залежності від виду експлуатаційних робіт: маневрової, на гірці і вивізної.

Було апроксимовано розрахункові значення  $E_{ne}$  і  $N_{eng}$ , для кожного виду виконуємої роботи отримано відповідні залежності. В загальному випадку з величиною достовірності апроксимації більшою 0,99 їх можна описати формулою

$$Ene = D \cdot (1/Neng)^3 - E \cdot (1/Neng)^2 + F \cdot (1/Neng) - G, \quad (15)$$

де D, E, F, G – параметри, що характеризують вид роботи і умови експлуатації локомотива.

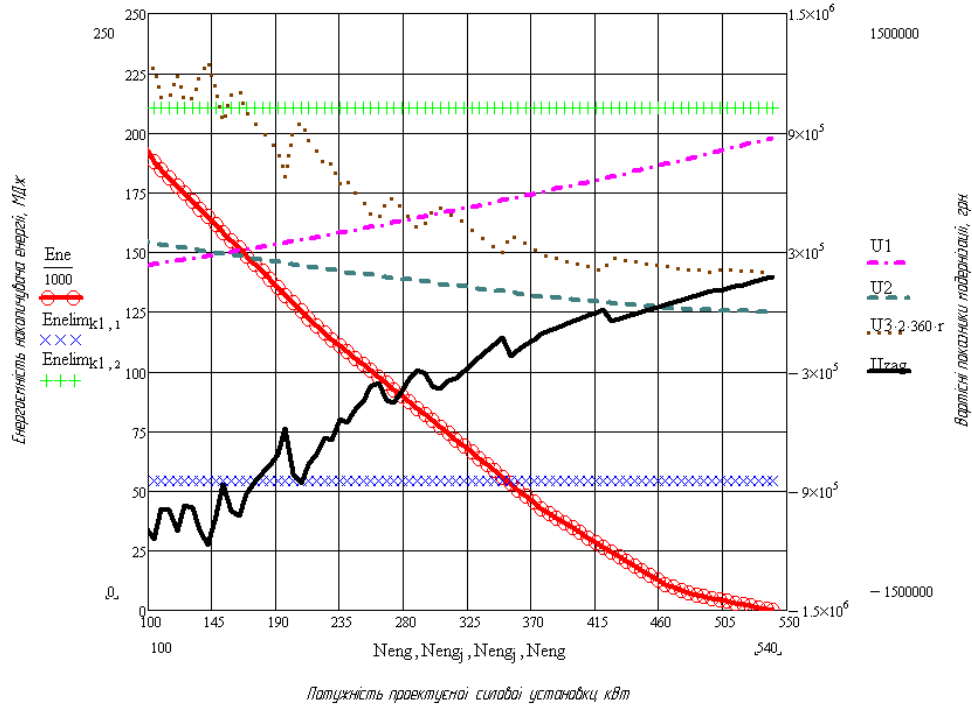


Рисунок 2 – Залежність енергоємності накопичувача і вартісних показників модернізації від потужності дизель-генератора.

Для розглянутих прикладів формула (13) набуде наступного вигляду

$$Uzag_j(N_{eng}) = A \cdot (Neng_j)^2 + B \cdot Neng_j + C + u_2 \cdot \left[ D \cdot (1/Neng)^3 - E \cdot (1/Neng)^2 + F \cdot (1/Neng) - G \right] - U_0 - \left[ \sum_{i=1}^n (Nf_i \cdot ge_0 \cdot \Delta\tau / 3600) - \sum_{i=1}^n G_{i,j} \right] \cdot ct + C_6 \cdot (H \cdot Neng_j + K - 1) \rightarrow \min, \quad (16)$$

де A, B, C, D, E, F, G, H, K – коефіцієнти, що характеризують тип обраної ДГУ, вид роботи, умови експлуатації і систему обслуговування і ремонту тепловоза.

За результатами розрахунків обрано відповідні параметри локомотивів: для маневрової:  $Neng_{opt} = 150$  кВт – оптимальна потужність дизель-генератора;  $Ene = 20$  МДж – оптимальна енергоємність накопичувача енергії; для вивізної:  $Neng_{opt} = 530$  кВт;  $Ene = 50$  МДж; для роботи на гірці:  $Neng_{opt} = 200$  кВт;  $Ene = 50$  МДж. За результатами тягових розрахунків для вивізної роботи. Витрати палива гібридним локомотивом в порівнянні із базовим було зменшено на 25%.

У п'ятому розділі розглянуто питання оцінки ефективності від впровадження гібридного тепловоза на базі маневрового локомотива ЧМЕЗ. Виконано аналіз існуючих методів оцінки технічного рівня рухомого складу. Для розрахунків було обрано метод вагових коефіцієнтів оцінки технічного рівня локомотивів, який зводиться до обчислення коефіцієнта технічного рівня. Маневровий тепловоз в цілому за критерієм корисного ефекту можна охарактеризувати множиною показників

$$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}. \quad (17)$$

Показники, які характеризують отримання економічного ефекту від зменшення експлуатаційних витрат становлять множину  $P_1 = \{p_{11}, p_{21}, p_{31}, \dots, p_{n1}\}$ . Корисний ефект, який отримується від збільшення обсягів експлуатаційної роботи характеризується множиною показників  $P_2 = \{p_{12}, p_{22}, p_{32}, \dots, p_{n2}\}$ . Економічний ефект від зменшення витрат при застосуванні у несприятливих умовах характеризується множиною показників  $P_3 = \{p_{13}, p_{23}, p_{33}, \dots, p_{n3}\}$ . При цьому  $P_1 \subseteq P$ ,  $P_2 \subseteq P$ ,  $P_3 \subseteq P$ . Множина показників  $P \supseteq P_1 \cup P_2 \cup P_3$  характеризує економічний ефект від використання гібридного маневрового тепловоза. До неї входять такі показники:  $g_e$  - питома витрата палива, г/кВт·год;  $C_{пал}$  - ціна палива, грн/т;  $B_e$  - середньо експлуатаційна витрата палива маневровим тепловозом за 1 годину, кг/год;  $T_{сл}$  - термін служби маневрового тепловоза, років;  $R_{ес}$  - ресурс дизеля;  $P_i(L)$  - ймовірність безвідмовної роботи маневрового тепловоза до ремонтів та за весь термін служби;  $Q_n$  - запас палива маневрового тепловоза, т;  $Q_m$  - запас масла маневрового тепловоза, т;  $Q_e$  - запас води маневрового тепловоза, т;  $Q_{ніс}$  - запас піску маневрового тепловоза, т;  $k_{НеMP}$  - коефіцієнт використання потужності тепловоза для маневрових робіт;  $F_\infty$  - сила тяги тривалого режиму, кН;  $v_\infty$  - швидкість тривалого режиму, км/год;  $N_\infty$  - потужність тривалого режиму, кВт;  $N_e$  - ефективна потужність маневрового тепловоза, кВт;  $P_l$  - вага маневрового тепловоза, т;  $P_{вс}$  - навантаження на вісь маневрового тепловоза, кН;  $v_k$  - конструкційна швидкість, км/год;  $L_l$  - довжина маневрового тепловоза, м;  $V_l$  - об'єм локомотива, м<sup>3</sup>;  $R_{min}$  - мінімальний радіус кривих, які проходить маневровий тепловоз, м.

Розраховано коефіцієнти технічного рівня  $K$  для гібридних маневрових локомотивів відносно тепловоза ЧМЕЗ:  $K_{(ТА436.05(718))}=0,68$ ,  $K_{(ЧМЕЗзібр.)}=1,1$ ,  $K_{(GG10KGreenkid)}=1,02$ ,  $K_{(GG20BGreencoat)}=1,32$ , тобто створення гібридного локомотива на базі тепловоза ЧМЕЗ із запропонованими характеристиками є доцільним.

Проведено розрахунки життєвого циклу гібридного тепловозу на базі ЧМЕЗ і базового локомотиву на період 20 років – час від модернізації (чи капітального ремонту) локомотива до повного виведення його з експлуатації. Таким чином, при використанні гібридного тепловоза на базі ЧМЕЗ за час експлуатації сумарний економічний ефект від одного тепловоза становитиме 3,5 млн. грн.

Розраховано коефіцієнт ефективності впровадження гібридного маневрового тепловоза замість тепловоза серії ЧМЕЗ, який враховує технічні, економічні й екологічні показники локомотива за формулою

$$K_{ef} = \left[ \sum_{i=1}^{i=s} k_n \varphi(i) / \sum_{i=1}^{i=s} \varphi(i) + LLC_{T_0} / LLC_{T_2} + \sum_{z=1}^n A'_z m_{\sigma z} / \sum_{z=1}^n A'_z m_{z z} \right] / 3, \quad (18)$$

де  $k_n$  – відношення числових параметрів нової розробки до параметрів існуючих об'єктів для раціональних категорій і нераціональних категорій;  $\varphi(i)$  – функція, що нормує вагу параметрів у ранжируваній послідовності;  $i$  – номер параметра локомотива;  $LLC_{T_0}$ ,  $LLC_{T_2}$  – вартість життєвого циклу відповідно базового тепловоза і гібридного на його основі, грн.;  $A'_z$  – показник відносної активності домішок  $z$ -ого виду;  $m_{\sigma z}$ ,  $m_{z z}$  – середньорічні маси забруднюючої речовини  $z$ -го виду, які потрапляють до атмосфери у році  $t$  при експлуатації відповідно базового локомотива і гібридного на його основі, кг/год на одну секцію.

Цей коефіцієнт виявився рівним  $K_e=1,7$ , що цілком підтверджує ефективність впровадження цього типу тепловозів замість локомотива серії ЧМЕЗ.

### ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене важливе науково-практичне завдання удосконалення методів та моделей визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів. Отримано наступні основні наукові результати:

1. Проведено аналіз існуючого парку локомотивів, витрат дизельного палива тепловозами і режимів роботи маневрових тепловозів, який показав, що маневрові тепловози більше ніж на 90% виробили свій термін служби, їх робота характеризується різко змінним режимом, в якому дизель-генератор працює більшу частину часу в найнеекономному режимі. Пропонується в якості одного із способів підвищення економічності експлуатації тепловоза впровадження на ньому гібридного приводу. Проведено аналіз локомотивів, які мають гібридну тягу. Виявлено, що створення гібридного локомотива на базі маневрового тепловоза ЧМЕЗ є доцільним рішенням.

2. Аналіз праць вчених свідчить, що для вирішення завдання визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів необхідний комплексний підхід, який має пов'язувати між собою технічні параметри локомотива, показники експлуатації і вартісні показники. Для обґрунтування вибору техніко-економічних показників гібридних локомотивів обрано певний підхід, що базується на математичному моделюванні і дозволяє обґрунтувати вибір основних техніко-економічних показників тепловоза при найменшій вартості життєвого циклу за певних умов експлуатації.

3. Побудована функціональна модель роботи гібридного маневрового тепловоза, яка дозволяє визначити функціональні зв'язки між елементами передачі потужності із гібридним приводом. На її основі визначено режими роботи гібридного маневрового тепловоза і обрано тип гібридної передачі потужності.

4. Розроблено оптимізаційну математичну модель для визначення параметрів силової установки і накопичувача енергії з урахуванням умов експлуатації. Складено функціональні залежності потужності дизель-генераторної установки від енергоємності накопичувача енергії для наступних видів роботи маневрового тепловоза: маневрової, вивізної і роботи на гірці.

5. Розроблено оптимізаційну модель нелінійного програмування з визначення раціональних техніко-економічних показників гібридного маневрового тепловоза, яка враховує вартісні показники елементів гібридного приводу, витрати на ремонт і обслуговування, а також економічний ефект від впровадження гібридного приводу на тепловозі. Побудовано залежності енергоємності накопичувача енергії з відповідними обмеженнями і вартісних показників модернізації від потужності обраної силової установки для заданого виду експлуатаційної роботи. Обґрунтовано доцільність використання різноманітних накопичувачів енергії за умови їх вартісних та масо-габаритних параметрів. Вдосконалено модель визначення параметрів передачі потужності тепловоза з урахуванням гібридного приводу. Відмінністю моделі від існуючих є те, що при використанні накопичувача енергії, його потужність додається до потужності, що підводиться до тягових двигунів.

6. На основі розроблених моделей складено алгоритм програми і програму розрахунку необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки маневрового тепловоза із гібридною передачею, за допомогою якої було визначено параметри дизель-генератора і накопичувача енергії для тепловоза ЧМЕЗ із гібридним приводом для певних видів роботи і умов експлуатації.

7. Складено процедуру, алгоритм програми, а на їх основі програму розрахунку техніко-економічних показників маневрового тепловоза із гібридною передачею потужності. Використовуючи цю програму при проектуванні маневрового тепловоза ЧМЕЗ із гібридною передачею потужності, було визначено раціональні співвідношення параметрів його силової установки і накопичувача енергії, а на їх основі і значення інших техніко-економічних показників локомотива. Розраховано параметри декількох варіантів гібридних тепловозів залежно від виду експлуатаційних робіт.

8. Проведено тягові розрахунки з використанням програмного комплексу для профілю Стаханов-Попасна із поїздом масою 500 т для вивізної роботи за параметрами локомотиву, обраного за результатами розрахунків. Режимми ведення обох локомотивів обиралися таким чином, щоб час руху у тязі, а також вибігу і гальмуванні були приблизно однаковими. Тягова характеристика гібридного локомотива на базі маневрового тепловоза серії ЧМЕЗ була отримана за допомогою розробленого програмного комплексу. Виявлено, що в результаті заміни базового маневрового тепловоза серії ЧМЕЗ гібридним локомотивом, побудованому на його базі, для розглянутої ділянки і відповідної маси поїзда, сумарні витрати палива складуть відповідно 168 кг і 126 кг, тобто зменшаться на 25%, а коефіцієнт корисної дії поїздки збільшиться на третину.

9. Удосконалено методику визначення технічного рівня тепловозів; обрано номенклатуру показників, що характеризують гібридний привід і розраховано коефіцієнт технічного рівня гібридного маневрового тепловоза на базі ЧМЕЗ в порівнянні із прототипом, який дорівнює 1,1, що доводить ефективність технічної експлуатації даного локомотива. Розраховано показники вартості життєвого циклу маневрового тепловоза ЧМЕЗ і гібридного на його базі. Виявлено, що при використанні гібридного маневрового тепловоза на базі ЧМЕЗ за час експлуатації сумарний економічний ефект від одного тепловоза становитиме 3,5 млн. грн.



Розроблено модель визначення ефективності від впровадження гібридного маневрового тепловоза із урахуванням виду експлуатаційної роботи. На її основі розраховано коефіцієнт ефективності від впровадження гібридного маневрового тепловоза замість тепловоза серії ЧМЕЗ, який враховує технічні, економічні і екологічні показники локомотива. Цей коефіцієнт виявився рівним для маневрової роботи  $K_{\text{еф(ман.)}}=1,7$ , роботи на гірці  $K_{\text{еф(гор.)}}=1,9$ , вивізної роботи  $K_{\text{еф(ман.)}}=2,4$ , що цілком підтверджує ефективність впровадження цього типу маневрового тепловоза замість локомотива серії ЧМЕЗ.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні наукові праці:

1. Черняк, Ю. В. Физическая модель для изучения процессов рекуперации электрической энергии тепловоза ЧМЭЗТ / Ю.В. Черняк, Ю.В. Прилепский, А. Н. Горобченко, Н. В. Володарец // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 108. – С. 69-74.

2. Фалендиш, А. П. Розробка моделі розрахунку техніко-економічних параметрів маневрового тепловозу із застосуванням гібридної тяги / А. П. Фалендиш, М.В. Володарець // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 23. – С. 156-162.

3. Фалендиш, А. П. Оценка технического уровня маневровых тепловозов с гибридной передачей / А.П. Фалендыш, Н.В. Володарец // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2010. - №5(147). – ч.2. – С. 134-141.

4. Фалендиш, А. П. Розробка моделі для вибору потужнісних характеристик маневрового тепловозу із гібридною передачею / А. П.Фалендиш, М. В. Володарець // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 24. – С. 122-130.

5. Фалендыш, А. П. Использование гибридных передач на маневровых тепловозах / А. П. Фалендыш, Н. В. Володарец // Локомотив-информ. – 2010. - №12, декабрь. – С. 4-7.

6. Володарець, М. В. Визначення необхідної енергоємності накопичувачів енергії та потужності силової установки маневрового тепловозу із гібридною тягою / М. В. Володарець // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 26. – С. 92-95.

7. Бірюков, О.С. Модернізація маневрового тепловоза ЧМЭЗТ з метою зменшення витрати палива і значного зниження викидів шкідливих речовин / О. С. Бірюков, А. П. Фалендиш, М. В. Володарець, І. В. Золотухін // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 126. – С. 157-160.

8. Володарець, М. В. Аналіз витрат палива тепловозами серії ЧМЕЗ та ЧМЕЗ-П під час виконання маневрової роботи / М.В. Володарець // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 27. – С. 99-104.

9. Фалендиш, А. П. Аналіз витрат палива тепловозами серії ЧМЕЗ та ЧМЕЗ-П під час виконання вивізної роботи / А. П.Фалендиш, М. В. Володарець, І.В. Золотухін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 28. – С. 196-202.

10. Фалендиш, А. П. Розробка методики розрахунку питомих витрат палива модернізованим і базовим маневровими локомотивами при їх роботі по станції / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, Ю.В. Білецький // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2012. – №3(174).– С. 217-224.

11. Фалендиш, А.П. Вдосконалення методів та моделей визначення техніко-економічних показників локомотивів із гібридним приводом / А. П. Фалендиш, М.В. Володарець // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля / Науковий журнал. – Луганськ, вид. СНУ, 2014. №3 (210). –С.272-276.

12. Фалендиш, А.П. Визначення раціональних параметрів гібридного маневрового тепловоза на базі ЧМЕЗ / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, О.В. Артеменко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля / Науковий журнал. – Северодонецьк, вид. СНУ, 2015. – №1 (218). – С.253-256.

*Публікації у виданнях іноземних держав та виданнях України, що зареєстровані у міжнародних наукометричних базах:*

13. Falendish, A. Diesel-locomotive switcher's modernisation by hybrid transmission of power [Text] / A. Falendish, N. Volodarets, N. Bragin // ТЕКА. Commission of motorization and energitics in agriculture. – Lublin-Lugansk. – 2012. – Vol. 12. –No 4. – P. 58-63.

14. Володарець, М. В. Аналіз можливості заміни тепловозів серії ЧМЕЗ сучасними маневровими локомотивами / М.В. Володарець // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2014. – Вип. 39. – С. 126-132.

#### **Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

15. Володарець, М.В. Комп'ютерна програма «Модель розрахунку параметрів системи технічного обслуговування і ремонту локомотивів (The model for calculation the parameters of the system maintenance and repair of locomotives)» («RP\_SORL.exe») : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №46784, Україна / М.В. Володарець, Ю.В. Білецький, І.В. Золотухін, О.В. Камчатний, Ю.В. Кривошея, Е.Д. Тартаковський, А.П. Фалендиш; заявник. – №47072; заявл. 15.10.2012; опубл. 14.12.2012; каталог 16; бюл.29.

#### **Праці апробаційного характеру:**

16. Фалендиш, А. П. Внедрение гибридного локомотива на железных дорогах Украины / А. П. Фалендиш, Н. В. Володарец, Н. И. Брагин, А.В. Зайцев // Інноваційні технології на залізничному транспорті: перша студентська науково-практична конференція, 23-25 вересня 2010 р., м. Красний Лиман: збірник наукових праць конф. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2010. – С. 108-109.

17. Гуцин, А. М. Внедрение локомотива с гибридной тягой на донецкой железной дороге / А. М. Гуцин, Н. В. Володарец // Транспорт і логістика: II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів, 13-14 жовтня 2010 р. : матеріали конф. – Донецьк : Донецька академія автомобільного транспорту, 2010. – С. 276-279.

18. Фалендиш, А. П. Модель визначення характеристик маневрового тепловозу із застосуванням гібридної тяги / А. П. Фалендиш, М. В. Володарець //

Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування: 2-га щорічна міжвузівська науково-технічна конференція викладачів, молодих вчених та студентів, 2-3 грудня 2010 р. : матеріали конф. – Донецьк : ДонІЗТ, 2010. – С. 13-14.

19. Володарець, М. В. Впровадження локомотива з гібридною тягою на залізницях України / М. В. Володарець // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: 71-я Международная научно-практическая конференция, Днепропетровск, 14-15 апреля, 2011 г. : тезисы докладов. – Д: ДИИТ, 2011. – С. 60.

20. Володарець, М. В. Дослідження режимів роботи маневрових локомотивів / М. В. Володарець // Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування: 3-я міжвузівська науково-технічна конференція викладачів, молодих вчених та студентів, 29-30 листопада 2011 р. : матеріали конф. – Донецьк : ДонІЗТ, 2011. – С. 82-84.

21. Володарець, М. В. Впровадження рекомендацій щодо раціонального використання модернізованого маневрового тепловоза серії ЧМЕЗ-П / М. В. Володарець // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте: Шестая Международная научно-практическая конференция, 12-21 декабря 2011 г. : материалы конф. – Киев : ЭКУЖТ, 2011. – С. 208-209.

22. Фалендыш, А.П. Улучшение технико-экономических показателей работы маневровых тепловозов, работающих по системе двух единиц / А.П. Фалендыш, В.А. Гатченко, Н.В. Володарец // 21 век: фундаментальная наука и технологии: международная научно-практическая конференция, Москва, 24-25 декабря, 2012 г.: материалы конф. – М: Научно-издательский центр «Академический», 2012. – С. 163-167.

23. Фалендиш, А.П. Визначення раціональних параметрів гібридного маневрового тепловоза / А.П. Фалендиш, М. В. Володарець // Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування: 5-а міжвузівська науково-технічна конференція викладачів, молодих вчених та студентів, 11-12 грудня 2013 р.: матеріали конф. – Донецьк: ДонІЗТ, 2013. – С. 51-52.

24. Фалендиш, А.П. Визначення техніко-економічних параметрів гібридних локомотивів з урахуванням техніко-експлуатаційних та вартісних показників / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, В.О. Гатченко // Інноваційні технології на залізничному транспорті. Зб. наук. праць конф., 31 березня – 7 квітня 2014 р. м. Лондон, Англія / -Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2014. – С.95-98.

25. Фалендиш, А.П. Підвищення технічного рівня маневрового тепловозу за рахунок його гібридизації / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець / Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник тез науково-практичної конф. студентів та молодих вчених, 4-листопада 2014 р., м. Сєвєродонецьк / відп. ред. Н.Б. Чернецька-Білецька. –Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2014. – С.89-92.

26. Фалендиш, А.П. Розрахунок оптимальних параметрів маневрового тепловоза із гібридною передачею потужності / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець / Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник тез науково-практичної конф. студентів та молодих вчених, 4-8 травня 2015 р., м. Лозова /

відп. ред. Н.Б. Чернецька-Білецька. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2015. – С.121-123.

## АНОТАЦІЯ

Володарець М.В. Удосконалення методів та моделей визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2016.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального наукового завдання – удосконалення методів та моделей визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів. У ній формалізовано задачу вибору техніко-економічних параметрів для маневрового тепловоза. Також розроблена функціональна модель роботи гібридного маневрового тепловоза, розроблена оптимізаційна математична модель для визначення параметрів силової установки і накопичувача енергії з урахуванням умов експлуатації, розроблена оптимізаційна модель з визначення раціональних техніко-економічних показників гібридного маневрового тепловоза. На основі моделей розроблено програмний комплекс для розрахунку техніко-економічних характеристик гібридного маневрового тепловоза.

Розроблено модель визначення ефективності від впровадження гібридного маневрового тепловоза з врахуванням виду експлуатаційної роботи. На її основі розраховано коефіцієнт ефективності від впровадження гібридного маневрового тепловоза замість тепловоза серії ЧМЕЗ, який враховує технічні, економічні і екологічні показники локомотива.

*Ключові слова:* гібридний маневровий тепловоз, режими роботи, параметри експлуатації, оптимізація, енергетична установка, накопичувач енергії, математичне моделювання.

## АННОТАЦИЯ

Володарец Н.В. Усовершенствование методов и моделей определения технико-экономических показателей гибридных локомотивов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, – Харьков, 2016.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи – усовершенствование методов и моделей определения технико-экономических показателей гибридных локомотивов.

Анализ состояния современного парка маневровых тепловозов показывает, что техническая база железных дорог Украины и технологический уровень организации перевозок по многим параметрам не отвечает нуждам общества и европейским стандартам качества транспортных услуг. Поэтому возникает

необходимость в обновлении тягового подвижного состава Укрзалізничці, которую можно осуществить следующими способами: путем закупки нового подвижного состава или модернизацией существующего.

Анализ работы маневровых тепловозов показал, что они характеризуются резко сменным режимом работы, при этом 50 – 60 % времени они работают на холостом ходу; 45 – 70 % на низких нагрузках и лишь 2 – 5 % времени на номинальных. Одним из способов повышения экономичности эксплуатации маневровых тепловозов является замена существующей дизель-генераторной установки на дизель-генераторную установку малой мощности с накопителем энергии, то есть создание, так называемого, гибридного локомотива. В качестве возможных накопителей энергии могут быть использованы аккумуляторные батареи, конденсаторы высокой емкости, гироскопические аппараты и т.п. Кроме экономического аспекта, сокращение расхода топлива, данная модернизация тепловоза позволит улучшить экологические показатели.

Из анализа методов и моделей выходит, что разные ученые из разных стран в течение многих лет проводили исследования, направленные на определение технико-экономических параметров подвижного состава, отдельные из которых касаются и гибридных локомотивов, однако большинство из них ориентированны на общеиспользуемый подвижной состав. Для решения задачи определения технико-экономических показателей гибридных локомотивов необходимым является комплексный подход, который должен учитывать технические параметры локомотива, показатели эксплуатации и стоимостные показатели.

Поэтому в работе были усовершенствованы методы и модели определения технико-экономических показателей локомотивов с целью адаптации их к гибриднему подвижному составу с учетом комплексного подхода.

Для достижения поставленной цели в работе использовались методы теоретического и эмпирического исследования при выполнении анализа вопроса оценки определения технико-экономических показателей локомотивов; математического моделирования, с использованием программного комплекса на базе персональной ЭВМ и системный подход для создания математической модели определения технико-экономических показателей гибридных локомотивов; математической статистики и теории надежности для расчетов параметров гибридных локомотивов; экспертный метод с использованием теории множеств для оценки технического уровня гибридного маневрового тепловоза и выбора номенклатуры его показателей.

Разработана функциональная модель работы гибридного маневрового тепловоза. Также разработаны оптимизационная математическая модель для определения параметров силовой установки и накопителя энергии с учетом условий эксплуатации и оптимизационная модель по определению рациональных технико-экономических показателей гибридного маневрового тепловоза. На основе моделей разработан программный комплекс для расчета технико-экономических характеристик гибридного маневрового тепловоза.

Модель для определения рациональных технико-экономических характеристик гибридного маневрового тепловоза проверена на адекватность. Для тепловоза ЧМЭЗ погрешность в расчетах составила около 3%.

Обоснована целесообразность использования разных накопителей энергии при условии их массо-габаритных и стоимостных параметров.

Проведен анализ характеристик существующих локомотивов, которые имеют гибридную тягу, и рассчитан их технический уровень, из чего следует, что создание гибридного локомотива на базе маневрового тепловоза ЧМЭЗ является целесообразным решением. Выполнена оценка стоимости жизненного цикла гибридного тепловоза. Выявлено, что при использовании гибридного тепловоза на базе ЧМЭЗ за время эксплуатации суммарный экономический эффект от одного тепловоза составит 3,5 млн. грн.

Разработана модель определения эффективности от внедрения гибридного маневрового тепловоза с учетом вида эксплуатационной работы. На ее основе рассчитан коэффициент эффективности от внедрения гибридного маневрового тепловоза вместо тепловоза серии ЧМЭЗ, который учитывает технические, экономические и экологические показатели локомотива.

*Ключевые слова:* гибридный маневровый тепловоз, режимы работы, параметры эксплуатации, оптимизация, энергетическая установка, накопитель энергии, математическое моделирование.

## ABSTRACT

Volodarets M.V. Improvement of methods and models for determining the technical and economic parameters of hybrid locomotives. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a specialty 05.22.07 – Railway Rolling Stock and Hauling Operations. – Ukrainian State University of Railway Transport MES of Ukraine, Kharkiv, 2016.

This work is devoted to the solution of urgent scientific problems – improved methods and models for determining the technical and economic performance of hybrid locomotives. It formalized the task of selecting technical and economic parameters for shunting locomotive. Also developed a functional model of hybrid shunting locomotive, developed mathematical optimization model to determine the parameters of propulsion and energy storage based operating environment developed optimization model to determine rational technical and economic parameters hybrid shunting locomotive. Based on the models developed software package for calculation of technical and economic characteristics of hybrid shunting locomotive.

The model determine the effectiveness of the introduction of hybrid shunting locomotive taking into account the type of operational work developed. On this basis calculated efficiency factor of the introduction of hybrid shunting locomotive diesel instead ChME3 series which takes into account technical, economic and ecological indicators of the locomotive.

*Keywords:* hybrid shunter diesel locomotive, operation modes, parameters of exploitation, optimization, power plant, energy store, mathematic modeling.

ВОЛОДАРЕЦЬ МИКИТА ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 629.4.016

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-  
ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГІБРИДНИХ ЛОКОМОТИВІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. Зіньківський А.М.

---

Підписано до друку « 26 » квітня 2016 р. Формат паперу А5.

Папір для тиражувальних апаратів, друк на різнографі.

Умовн.-друк.арк. 0,7. Обл.-вид.арк. 0,9.

Замовлення № 164 Тираж 150 прим.

---

Видавництво УкрДУЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДУЗТ: 61050 , м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7